

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геохимии им. А.П. Виноградова  
Сибирского отделения Российской академии наук**

**УТВЕРЖДЕНА**

на заседании Ученого совета ИГХ СО РАН

Протокол № 5 от 26.04.2024 г.

Директор ИГХ СО РАН д.г.-м.н. А.Б. Перепелов

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.02 Кристаллография и кристаллохимия**

Направление подготовки: 05.04.01 Геология  
направленность "Геохимия, минералогия и геоэкология"

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Иркутск 2024 г.

## Содержание

1. Цель и задачи дисциплины.....	3
2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО.....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
4. Содержание и структура дисциплины.....	6
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	6
4.2. План и перечень тем самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	7
4.3. Содержание учебного материала .....	9
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	12
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины .....	13
5.1 перечень основной и дополнительной литературы .....	13
5.2. Периодические издания .....	14
5.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы .....	15
6. Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	15
6.1. Учебно-лабораторное оборудование .....	15
6.2. Программное обеспечение.....	15
6.3. Технические и электронные средства обучения.....	16
7. Образовательные технологии.....	16
8. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации .....	16
8.1. Оценочные материалы для текущего контроля.....	17
8.2. Оценочные материалы для промежуточной аттестации.....	20

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель:** овладение теоретическими основами кристаллографии и кристаллохимии, формирование знаний об атомарном строении кристаллов, являющихся фундаментальными для всестороннего изучения минералов, горных пород и руд, понимание процессов минералообразования.

**Задачи:**

- овладение студентами теоретическими основами определения симметрии кристалла и кристаллических решеток;
- овладение графическими способами проецирования кристаллов и их практическое применение при решении кристаллографических задач; приобретение навыков описания внешней формы и внутреннего строения кристаллов;
- изучение современных взглядов на свойства атомов, факторы, определяющие структуру кристаллических веществ и их физико-химические свойства;
- рассмотрение важнейших кристаллохимических явлений (изоморфизм, полиморфизм и др.); получение знаний о кристаллохимии основных породообразующих минералов;
- знакомство с методами исследования кристаллического вещества;
- знакомство с основами взаимосвязи строения и симметрии природных и искусственных материалов с их свойствами и характеристиками;
- освоение естественнонаучного базиса для последующего изучения минералогии, петрографии и других геологических наук;

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Учебная дисциплина относится к части программы, формируемой участниками образовательных отношений, осваивается на 1 курсе, в 1 и 2 семестрах.

Полученные в рамках изучения данной дисциплины знания, умения и опыт необходим для освоения таких дисциплин как: Б1.О.04 «Физико-химические методы исследования вещества», Б1.В.03 «Минералогия и процессы минералообразования», Б1.В.05 «Геохимия элементов»; Б1.В.06 «Общая геохимия», Б1.В.07 «Оптическая микроскопия пород и руд»; прохождения практик: Б2.О.02(Н) «Научно-исследовательская работа», Б2.О.03(Пд) «Преддипломная практика»; а также в той или иной степени применяются в процессе основания всех дисциплин программы.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у студента следующих компетенций (элементов следующих компетенций) в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 05.04.01 Геология:

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
<b>ПК-1</b> Способен использовать фундаментальные теоретические знания при решении научно-исследовательских задач в области геологии	<b>ИД-1пк1</b> Использует современные положения фундаментальных геологических дисциплин на разных этапах осуществления и сопровождения научно-исследовательских работ	<b>Знать:</b> основные понятия структурной кристаллографии и кристаллохимии, структурные основы неорганической химии <b>Уметь:</b> анализировать, интерпретировать и обобщать теоретические знания и результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ <b>Владеть:</b> символика Браве, Шенфлиса и Германа-Могена и теоремами взаимодействия элементов

		<p>симметрии, навыками организационных и технологических приемов сфере своей исследовательской деятельности в области изучения кристаллов и твердых веществ в зависимости от поставленных задач</p>
	<p><b>ИД-2<sub>пк1</sub></b>          Воспринимает фундаментальные теоретические знания как способ получения фактической информации и инструмент для создания моделей и интерпретации результатов научных исследований</p>	<p><b>Знать:</b> основные свойства кристаллических веществ, пространственную и точечную симметрию структуры кристаллов, кристаллохимическую классификацию кристаллических веществ  <b>Уметь:</b> определять взаимосвязь внутреннего строения, свойств и генезиса минералов  <b>Владеть:</b> навыками работы с базами данных о симметрии и строении кристаллических материалов и минералов</p>
<p><b>ПК-2</b>          Способен осуществлять сбор и анализ геологической информации и материала, а также проводить их документирование</p>	<p><b>ИД-1<sub>пк2</sub></b>          Проводит отбор, описание, документирование и анализ геологической информации и материала</p>	<p><b>Знать:</b> систематическую кристаллохимию  <b>Уметь:</b> собрать и составить описание всей необходимой для проведения исследования информацию, составить необходимую для проведения эксперимента документацию  <b>Владеть:</b> способами анализа структуры кристаллических веществ, современными сведениями применения кристаллических веществ в производстве</p>
	<p><b>ИД-2<sub>пк2</sub></b>          Выполняет необходимые процедуры по подготовке проб для проведения аналитических исследований</p>	<p><b>Знать:</b> современные методы исследования кристаллического вещества, основы дифракционного метода исследования кристаллов, категории кристаллохимии (полиморфизм, политипия, изоморфизм), представления о зарождении и механизмах роста реальных кристаллов в природных и лабораторных системах.  <b>Уметь:</b> отобрать и подготовить образец для исследования согласно выбранной методике и поставленным задачам  <b>Владеть:</b> способностью и готовностью к анализу системных свойств и структурных особенностей кристаллических веществ, умением анализировать внешнюю форму и выделять структурные единицы кристаллов</p>
<p><b>ПК-3</b>          Способен выбирать и определять оптимальные технические средства и необходимое</p>	<p><b>ИД-1<sub>пк3</sub></b>          Выбирает и определяет оптимальные технические средства и необходимое оборудование при постановке и проведении</p>	<p><b>Знать:</b> закономерности и связь структуры и свойств химических элементов соединений при выборе параметров  <b>Уметь:</b> самостоятельно формулировать задачу исследования, определять</p>

<p>оборудование при постановке научных исследований, подготавливать и проводить исследования, эксперименты, наблюдения, измерения, составлять их описание, выполнять их интерпретацию и формулировать выводы</p>	<p>научных исследований или эксперимента</p>	<p>основные факторы, влияющие на свойства материалов <b>Владеть:</b> основными методиками и навыками определения строения материалов</p>
	<p><b>ИД-1<sub>пк3</sub></b> Подготавливает и проводит исследования, эксперименты, наблюдения, измерения, составляет их описание, выполняет их интерпретацию и формулирует выводы</p>	<p><b>Знать:</b> фундаментальные понятия, терминологию и символику кристаллохимии, общие принципы характеристики и интерпретации кристаллических структур <b>Уметь:</b> грамотно и аргументированно интерпретировать собственные результаты и литературные данные, формулировать необходимые заключения и выводы, графически отображать полученные результаты, вести научную дискуссию <b>Владеть:</b> современными программами визуализации, навыками выделения из кристаллохимических данных необходимой информации о результатах проведенных исследований и использования ее для постановки целей и задач иных исследований и экспериментов</p>
<p><b>ПК-4</b> Способен изучать и использовать научно-техническую информацию, применять отечественный и зарубежный опыт при выполнении задач научно-исследовательской работе</p>	<p><b>ИД-1<sub>пк4</sub></b> Использует учебную, справочную, периодическую, фондовую литературу и информационные ресурсы геологического, геохимического и экологического профиля при выполнении научно-исследовательских работ</p>	<p><b>Знать:</b> современные базы структурных данных, принципы описания кристаллической структуры по ее модели или чертежу <b>Уметь:</b> читать и использовать информацию по кристаллическому строению минералов, химических веществ и материалов, анализировать, обобщать и систематизировать литературные данные по структурному описанию веществ <b>Владеть:</b> навыками использования литературных данных о структуре вещества для понимания свойств соединения, структурной систематикой неорганических кристаллов</p>
	<p><b>ИД-1<sub>пк4</sub></b> Ориентируется в структуре современных информационных источников, ресурсов и литературе для поиска и подбора актуальной информации или углубления знаний в рамках решения конкретной профессиональной задачи</p>	<p><b>Знать:</b> источники необходимой для выполнения исследовательской задачи информации <b>Уметь:</b> искать информацию по кристаллическому строению минералов, химических веществ и материалов в научных публикациях и иных источниках. <b>Владеть:</b> представлениями о методах подготовке публикаций с привлечением данных кристаллохимии</p>

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 7 зачетных единиц, что составляет 252 академических часа, в том числе 3 академических часа на зачет и 4 академических часа на экзамен.

Форма промежуточной аттестации: зачет в 1 семестре, экзамен во 2 семестре.

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Контроль самостоятельной работы (КСР), в часах	Формы текущего контроля успеваемости / форма промежуточной аттестации
					Контактная работа преподавателя с обучающимися					
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консультации			
1	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов	1	47,9		16	16	1	14	0,9	Собеседование
2	Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис	1	20,3		8	8		4	0,3	Собеседование
3	Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов	1	12,3		4	4		4	0,3	Собеседование
4	Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур	1	24,5		8	8		8	0,5	Собеседование
	<b>Итого</b>		<b>108</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	<b>1</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>Зачет, 3</b>
5	Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах	2	32,3		6	6		20	0,3	Собеседование

6	Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур	2	32,3		6	6		20	0,3	Собеседование
7	Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.	2	50,0		16	16	1	16	1	Собеседование
8	Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохими. Термические и барические деформации веществ.	2	25,4		8	8	1	8	0,4	Собеседование
	Итого		144		36	36	2	64		Экзамен, 4
Всего			252		72	72	3	94	4	7

#### 4.2. План и перечень тем самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№	Название раздела, темы	Вид самостоятельной работы	Оценочное средство	Формируемый индикатор достижения компетенции	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы	Трудоемкость, часов
1	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов	Подготовка к коллоквиуму Подготовка к контрольной работе Выполнение упражнений Работа с учебным материалом	Собеседование Коллоквиум Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы	14
2	Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис	Подготовка к коллоквиуму Выполнение упражнений Работа с учебным материалом Работа с научной литературой	Собеседование Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы	4
3	Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов	Подготовка к контрольной работе Выполнение упражнений Работа с учебным материалом Работа с научной литературой	Собеседование Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы	4
4	Раздел 4. Основы кристаллохими. Симметрия кристаллических структур	Подготовка к контрольной работе Выполнение упражнений Работа с учебным материалом	Собеседование Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические	8

		Работа с научной литературой		ИД-2 <sub>ПК4</sub>	издания, базы данных	
5	<b>Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах</b>	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	20
6	<b>Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур</b>	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-2 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК3</sub> ИД-2 <sub>ПК3</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	20
7	<b>Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.</b>	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК3</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	16
8	<b>Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.</b>	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	8
	<b>Всего</b>					<b>94</b>

### 4.3. Содержание учебного материала

#### **Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов**

История развития кристаллографии как науки. Кристаллическое вещество. Понятие симметрии. Операции и элементы симметрии кристаллов: элементы симметрии I рода, элементы симметрии II рода. Методы проецирования кристаллов: сферические проекции, стереографические проекции, гномостереографические проекции. Понятие зон (поясов). Сетка Вульфа. Различные способы представления симметрических операций. Модельный, координатный методы представления симметрических операций. Основные положения теории групп. Взаимодействия элементов симметрии: осевая теорема Эйлера, основы сферической тригонометрии, частные случаи теоремы Эйлера. Обозначения групп симметрии по Шенфлису. Кристаллографические координатные системы. Кристаллографические категории. Кристаллографические системы (сингонии). Международные обозначения классов симметрии: символика Германна-Могена. Символы групп низшей категории. Символы групп средней категории. Символы групп высшей категории. Кристаллографические группы антисимметрии (шубниковские группы).

#### **Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис**

Общие сведения об образовании кристаллов. Причины и условия образования кристаллов. Краткая история получения искусственных кристаллов. Механизмы роста кристаллов. Структурные дефекты в кристаллах. Факторы, влияющие на внешний облик кристаллов. Морфологические особенности реальных кристаллов. Краткие сведения о методах выращивания кристаллов.

#### **Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов**

Символы граней кристаллов. Закон рациональности отношений параметров граней кристаллов – закон Гаюи. Символы ребер кристаллов, их определение. Закон поясов – закон Вейсса.

#### **Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур**

Основные понятия и этапы развития кристаллохимии. Классическая (дорентгеновская кристаллография). Рентгеновская кристаллография (кристаллохимия). Общие сведения о симметрии кристаллов. Основной закон симметрии кристаллов. Точечная симметрия кристаллов: элементы симметрии, кристаллографические системы координат. Пространственные группы симметрии кристаллов.

#### **Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах**

Изолированный атом. Образование химической связи. Причины образования связи. Валентность и связанные с ней химические понятия. Валентные или возбужденные состояния атома. Электроотрицательность химического элемента. Типы связи и их роль в стереохимии. Ионная связь. Образование ковалентной связи. Степень ионности-ковалентности химической связи. Теория валентных связей. Гибридизация электронных орбиталей. Неподделенные электронные пары, формы их проявления с стереохимии. Метод отталкивания электронных пар. Донорно-акцепторная связь. Металлическая связь. Межмолекулярные и вандерваальсовы взаимодействия. Водородная связь. Гомодесмические и гетеродесмические соединения. Зависимость физических свойств кристаллических веществ от типа химической связи. Эффективные радиусы атомов и ионов в кристаллах. Третья основная характеристика химического элемента. Ионные радиусы. Атомные радиусы. Межмолекулярные и вандерваальсовы радиусы.

#### **Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур**

Плотнейшие упаковки. Слои плотнейшей упаковки, чередование слоев, пустоты упаковки. Принцип плотнейшей упаковки. Распространенность плотнейших упаковок. Физические свойства минералов, обусловленные плотнейшей упаковкой. Координационные полиэдры. Правила Полинга. Определения, критерии формирования координационных полиэдров по Мангусу (Правило 1 Полинга). Электростатическое правило валентности Полинга (Правило 2). Устойчивость структуры в случае вершинного, реберного и гранного

сочленения координационных полиэдров (Правила 3 и 4). Принцип экономичности или парсимонии (Правило 5). Сложность кристаллических структур. Описание кристаллических структур. Базы структурных данных. Программы визуализации кристаллических структур и вычисления их количественных характеристик.

**Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.**

Определения и понятия. Систематика основных кристаллохимических явлений. Уровни структурного подобия. Структуры с одинаковыми системами точек. Изоконфигурационные (конфигурационные изотипные) структуры. Кристаллохимически изотипные структуры. Гомеотипные структуры. Антитипные структуры. Изотипия, изоструктурность. Определение и эволюция понятия полиморфизма. Термодинамическая систематика типов полиморфизма и ее соответствие принципам структурной систематики. Структурная систематика полиморфизма по Бюргеру. Политипия. Зависимость объема полиморфных модификаций кристаллических веществ от температуры и давления. Симметрия кристаллических веществ в различных термодинамических условиях. Метастабильные и стабилизированные фазы. Изоморфизм: определение, типы замещений. Этапы развития теории изоморфизма. Размерный критерий изоморфных замещений. Диагональные и вертикальные ряды изоморфизма. Правило полярности изоморфизма. Разнообразие структурных деформаций. Использование количественных характеристик деформаций кристаллической решетки. Критерий структурного разнообразия изоморфизма. Роль температуры при изоморфных замещениях. Блочный изоморфизм. Полисоматизм. Формы упорядочения твердых растворов при охлаждении. Морфотропия. Морфотропные ряды.

**Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.**

Высокотемпературная кристаллохимия: определения и понятия. Тенденция преобладания перестройки структуры при термическом расширении и завершающем полиморфном превращении. Принципы термических деформаций. Термическое расширение и тенденция повышения симметрии полиморфных модификаций с ростом температуры. Сдвиговые деформации. Отрицательное термическое расширение различной природы. Шарниры, природа и признаки шарнирных деформаций. Сдвиги как симметричный случай шарниров. Природа особых точек на температурных зависимостях параметров решетки. Корреляция термических деформаций со структурой и другими свойствами кристаллов. Принципы кристаллохимии высоких давлений. Начала динамической кристаллохимии.

**Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ**

№ п/п	№ Раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)
			Всего часов		
1	1	Понятие «симметрия», «симметричный объект». Операции и элементы симметрии. Символика Браве.	6	Коллоквиум	ИД-1 <sub>пк1</sub> ИД-2 <sub>пк1</sub> ИД-1 <sub>пк3</sub> ИД-2 <sub>пк3</sub>
2	1	Сложные элементы симметрии: зеркально-поворотные и инверсионные оси. Задачи на построение проекций.	6	Коллоквиум	ИД-1 <sub>пк1</sub> ИД-2 <sub>пк1</sub> ИД-1 <sub>пк3</sub> ИД-2 <sub>пк3</sub>
3	1	Категории и сингонии. Международная символика.	4	Контрольная работа	ИД-1 <sub>пк1</sub> ИД-2 <sub>пк1</sub> ИД-1 <sub>пк3</sub>

					ИД-2пкз
4	2	Простые формы кристаллов	8	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пкз ИД-2пкз
5	3	Определение символов граней кристаллов различных сингоний	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пкз ИД-2пкз
6	4	Основы кристаллохимии. Типы решеток Браве. Координационные числа. Координационные многогранники.	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-2пкз ИД-1пк4
7	4	Описание кристаллических структур.	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-2пк2 ИД-1пкз ИД-2пкз ИД-1пк4 ИД-2пк4
8	5-8	Структуры простых веществ (самородных элементов) и родственных им соединений	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
9	5-8	Структуры галогенидов, оксидов и халькогенидов	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
10	5-8	Систематика и свойства кислородных соединений	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
11	5-8	Структуры карбонатов, нитратов и боратов с изолированными треугольными радикалами	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
12	5-8	Бораты	4	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
13	5-8	Кристаллохимия силикатов и алюмосиликатов	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
14	5-8	Структуры силикатов с конечными линейными группами тетраэдров	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4

15	5-8	Кольцевые силикаты	2	Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>
16	5-8	Цепочечные силикаты и алюмосиликаты	4	Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>
17	5-8	Слоистые силикаты	2	Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>
18	5-8	Каркасные алюмосиликаты	6	Контрольная работа	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>
19	5-8	Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионцентрированных тетраэдров	2	Коллоквиум	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>
		<b>Всего</b>	<b>72</b>		

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов нацелена на подготовку к практическому занятию и выполняется в целях более объемного восприятия изучаемого материала, систематизации знаний по курсу и «встраивания» новых знаний в систему полученных ранее, выявления недостаточного понимания отдельных аспектов темы. Обучающемуся необходимо: изучить лекционный материал по заданной теме, рекомендованные основную и дополнительную литературу; запомнить определения базовых понятий по изучаемой теме; выполнить задания, рекомендованные для самостоятельного решения при подготовке к занятию. Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется в процессе проведения лекционных занятий по разделам и темам учебной дисциплины, а также во время практических занятий и включает в себя проверку контрольных работ, подготовки докладов и презентаций.

Основные оценочные средства самостоятельной работы студентов являются собеседование, коллоквиум и контрольные работы, приводящиеся во время практических занятий по окончании освоения разделов программы.

В рамках дисциплины запланирована самостоятельная работа студентов по следующему перечню тем:

##### **Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы; подготовка к коллоквиуму; решение упражнений и задач по образцу, разобранному на практическом занятии; подготовка к контрольной работе.

##### **Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: изучение лекционного материала; подготовка к коллоквиуму; решение упражнений и задач по пройденной теме; подготовка к контрольной работе.

### **Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: работа с текстами учебника, конспекта лекции; подготовка к коллоквиуму; решение упражнений и задач по определению символов граней кристаллов; подготовка к контрольной работе.

### **Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: выполнение домашнего задания, выдаваемого на практических занятиях; углубленный анализ научно-методической литературы; подготовка к контрольной работе.

### **Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы; поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

### **Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по теме; подготовка к коллоквиуму; углубленный анализ научно-методической литературы; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

### **Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: изучение лекционного материала, предусматривающие проработку конспекта лекций и учебной литературы; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

### **Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.**

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: изучение лекционного материала, предусматривающее проработку конспекта лекций; поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по теме; подготовка к коллоквиуму; углубленный анализ научно-методической литературы; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 перечень основной и дополнительной литературы**

#### основная литература

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия, М: изд-во Книжный дом «Университет», 2014, 588 с.
2. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия, М: изд-во Книжный дом «Университет», 2005, 520 с.
3. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г. Кристаллография, М.: изд-во МГУ, 1992, 288 с.
4. Зоркий. П.М. Задачник по кристаллохимии и кристаллографии. М.: изд-во МГУ, 1981, 40 с. Электронный доступ: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/zorkii1/all.pdf>.
5. Зоркий П.М. Симметрий молекул и кристаллических структур. М.: изд-во МГУ, 1986, 232 с. Электронный доступ: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/zorkii2/all.pdf>
6. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. М., МГУ, 1987. Электронный доступ: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/urusov/welcome.html>

#### дополнительная литература

1. Филатов С.К., Кривовичев С.В., Бубнова Р.С. Общая кристаллохимия. СПб.: изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2018, 276 с.
2. Филатов С.К., Кривовичев С.В., Бубнова Р.С. Систематическая кристаллохимия. СПб.: изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2019, 231 с.
3. Завьялов Е.Н. Кристаллология: Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. М: изд-во Книжный дом «Университет», «Университетская книга», 2016, 314 с.
4. Егоров-Тисменко Ю.К. «Руководство к практическим занятиям по кристаллографии», М: Изд-во МГУ, 2010, 208 с.
5. Урусов В.С., Еремин Н.Н. «Кристаллохимия. Краткий курс» М.: изд-во МГУ, 2010, 258 с.
6. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю. К. «Геометрическая кристаллография», 2-е изд., М.: изд-во МГУ, 1986, 166 с.
7. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. «Руководство к практическим занятиям по кристаллохимии», М.: изд-во МГУ, 1983, 167 с.
8. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. «Теория симметрии кристаллов», М.: изд-во ГЕОС, 2000, 394 с.
9. Попов Г.М., Шафрановский И.И. «Кристаллография», 5-е изд., М.: изд-во Высшая школа, 1972, 352 с.
10. Еремин Н.Н., Еремина Т.А. «Занимательная кристаллография», М: МЦНМО, 2013, 127 с.
11. Пушаровский Д.Ю. «Рентгенография минералов». М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000, 292 с.
12. Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: изд-во Высшая школа, 1984, 375 с.
13. Современная кристаллография, т. 2. Структура кристаллов. /Ред. Б.К. Вайнштейн. М., Наука, 1979, 360 с.
14. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. М.: МГУ, 1987, 275 с.
15. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. М.: Недра, 1976.
16. Бокий Г.Б. Кристаллохимия. М.: Наука, 1973, 344 с.
17. Ворошилов Ю.В. Павлишин В.И. «Основы кристаллографии и кристаллохимии. Рентгенография кристаллов» Киев: КНТ, 2011. 568 с.

## 5.2. периодические издания

1. Журнал "Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials" Электронный адрес: <https://www.journals.elsevier.com/progress-in-crystal-growth-and-characterization-of-materials>.
2. Журнал "IUCrJ" Электронный адрес: <https://journals.iucr.org/m/>.
3. Журнал "Crystal Growth & Design" Электронный адрес: <https://pubs.acs.org/journal/cgdefu>.
4. Журнал "CrystEngComm" Электронный адрес: <https://www.rsc.org/journals-books-databases/about-journals/crystengcomm/>.
5. Журнал "Journal of Applied Crystallography" Электронный адрес: <https://journals.iucr.org/j/>.
6. Журнал "Crystals" Электронный адрес: <https://www.mdpi.com/journal/crystals>.
7. Журнал "Crystallography Reviews" Электронный адрес: <https://www.tandfonline.com/toc/gcry20/current>.
8. Журнал "Acta Crystallographica A – Foundation and Advances" Электронный адрес: <https://journals.iucr.org/a/>.
9. Журнал "Structural Chemistry" Электронный адрес: <https://www.springer.com/journal/10947>.

10. Журнал "Journal of Crystal Growth" Электронный адрес:  
<https://www.journals.elsevier.com/journal-of-crystal-growth>.
11. Журнал "Crystal Research and Technology" Электронный адрес:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15214079>.
12. Журнал "Zeitschrift fur Kristallographie-Crystalline Materials" Электронный адрес:  
<https://www.degruyter.com/journal/key/zkri/html>.
13. Журнал "Acta Crystallographica Section C – Structural Chemistry" Электронный адрес:  
<https://journals.iucr.org/c/>.
14. Журнал "Кристаллография" Электронный адрес:  
<https://sciencejournals.ru/journal/krist/>.
15. Журнал "Journal of Chemical Crystallography" Электронный адрес:  
<https://www.springer.com/journal/10870>.
16. Журнал "Zeitschrift fur Kristallographie-New Crystal Structures" Электронный адрес:  
<https://www.degruyter.com/journal/key/ncrs/html>.
17. Журнал "Записки Российского Минералогического общества" Электронный адрес:  
<https://zrmo.org/ru/>.
18. Журнал "American Mineralogist" Электронный адрес:  
<http://www.minsocam.org/msa/ammin/ammineral.html>.
19. Журнал "Minerals" Электронный адрес: <https://www.mdpi.com/journal/minerals>.
20. Журнал "Mineralogical Magazine" Электронный адрес:  
<https://www.cambridge.org/core/journals/mineralogical-magazine>.
21. Журнал "Mineralogy and Petrology" Электронный адрес:  
<https://www.springer.com/journal/710>.
22. Журнал "European Journal of Mineralogy" Электронный адрес: <https://www.european-journal-of-mineralogy.net/>.
23. Журнал "Physics and Chemistry of Minerals" Электронный адрес:  
<https://www.springer.com/journal/269>.
24. Журнал "Canadian Mineralogist" Электронный адрес:  
<https://pubs.geoscienceworld.org/canmin>.
25. Журнал "Journal of Solid State Chemistry" Электронный адрес:  
<https://www.journals.elsevier.com/journal-of-solid-state-chemistry>.

### **5.3. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. <http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php> - база данных кристаллических структур American Mineralogist.
2. <http://www.mindat.org/> - база данных минералов
3. <http://www.webmineral.com/> - база данных минералов
4. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/> - база данных кристаллических структур МИНКРИСТ;

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Аудитория, оснащенная ноутбуком, мультимедийным проектором, проекционным экраном. Аудитория оснащена доступом в сеть интернет.

### **6.2. Программное обеспечение:**

Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение: программный пакет Office.

VESTA ([jp-minerals.org/vesta/en/download.html](http://jp-minerals.org/vesta/en/download.html)) – свободно распространяемое программное обеспечение для визуализации форм кристаллов

<http://www.shapesoftware.com/> - свободно распространяемое программное обеспечение для визуализации кристаллов и кристаллических структур;

Kristall2000 - свободно распространяемое программное обеспечение для визуализации форм кристаллов

### **6.3. Технические и электронные средства обучения:**

Мультимедийные проектор и проекционный экран, ноутбук.

## **7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Для реализации познавательной и творческой активности обучающихся и с целью повышения качества и эффективности усвоения знаний в процессе освоения дисциплины используются следующие образовательные технологии: лекционно-семинарское обучение, исследовательский метод в обучении, информационно-коммуникационные технологии, технология развития критического мышления.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Оценка качества освоения дисциплины включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию обучающихся. Текущий контроль успеваемости осуществляется в формах:

### **1 семестр:**

- оценка текущей активной работы студента на лекционных занятиях и на семинарских занятиях – коллоквиуме (до 36 баллов);

- решение Контрольных работ №1–4 (до 50 баллов в сумме);

Видом промежуточной аттестации является зачет (собеседование) (до 14 баллов) в 1 семестре.

### **2 семестр:**

- оценка текущей активной работы студента на лекционных занятиях и на семинарских занятиях – коллоквиуме (до 36 баллов);

- проведение индивидуальной работы по разбору научной статьи и представление ее результатов в виде доклада с презентацией на семинаре (до 39 баллов);

решение Контрольных работ №5–7 (до 45 баллов в сумме)

Видом промежуточной аттестации является экзамен (собеседование) во 2 семестре.

Результативность обучения складывается из суммы полученных баллов.

При использовании балльно-рейтинговой системы оценки качества знаний обучающегося устанавливается следующее соотношение набранных баллов с критериями оценки:

### **1 семестр:**

- 75–100 баллов – «Зачет»;

- 74 баллов и менее – «Незачет»;

### **2 семестр:**

- 85–120 баллов – «Допуск к экзамену»;

- 84 баллов и менее – «Не допуск к экзамену».

### **Критерии оценивания результатов экзамена (собеседования):**

«Неудовлетворительно» – знания, умения и навыки формируемых компетенций отсутствуют.

«Удовлетворительно» - наличие фрагментарных знаний; в целом успешные, но несистематические умения, студент допускает неточности непринципиального характера; фрагментарное владение методами, структурной систематикой, наличие отдельных навыков.

«Хорошо» - общие, но не структурированные знания; в целом успешные, но содержащие пробелы умения; наличие в целом сформированных навыков построения проекций, анализа кристаллических многогранников и структур, структурной систематики неорганических кристаллов, владения современными программами визуализации кристаллических структур.

«Отлично» - наличие систематических знаний; успешное умение проводить анализ симметрии, пользоваться современными базами кристаллохимических данных, давать полное описание кристаллической структуры по ее модели, чертежу, высказывать предположение о физических свойствах кристаллического соединения по его структуре; владение методами построения проекций и анализа кристаллических многогранников и структур, успешное владение структурной систематикой неорганических кристаллов, современными программами визуализации кристаллических структур, способами описания кристаллических структур.

### 8.1. Оценочные материалы для текущего контроля:

#### Материалы для проведения текущего контроля знаний студентов:

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Индикаторы достижения компетенций (компоненты), которые контролируются
1	Оценка текущей работы студента на лекционных занятиях (Собеседование)	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия. Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-2 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК3</sub> ИД-2 <sub>ПК3</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>
2	Оценка текущей работы студента на практических занятиях (Коллоквиум)	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия. Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-2 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК3</sub> ИД-2 <sub>ПК3</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>

		барические деформации веществ.	
3	Представление результатов индивидуальной работы по разбору научной статьи в виде доклада с презентацией (Коллоквиум)	Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия. Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК2</sub> ИД-2 <sub>ПК2</sub> ИД-1 <sub>ПК3</sub> ИД-2 <sub>ПК3</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>
4	Оценка текущей работы студента на практических занятиях (Контрольная работа)	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия. 6. Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	ИД-1 <sub>ПК1</sub> ИД-2 <sub>ПК1</sub> ИД-1 <sub>ПК4</sub> ИД-2 <sub>ПК4</sub>

#### Темы индивидуальных заданий:

1. Структуры простых веществ (самородных элементов) и родственных им соединений. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

2. Структуры галогенидов, оксидов и халькогенидов. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

3. Структуры кислородных соединений. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

4. Структуры карбонатов, нитратов и боратов. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

5. Структуры силикатов с конечными линейными кремнекислородными мотивами. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

6. Структуры цепочечных или ленточных силикаты. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

7. Структуры слоистых силикатов. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

8. Структуры каркасные силикаты и алюмосиликаты. Работа с информационно-библиографическими ресурсами и поисковыми системами и подбор научной литературы по теме, разбор научной статьи. Описание кристаллической структуры соединения. Обсуждение составляющих статьи: Заголовок, Аннотация, Ключевые слова, Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

#### **Контрольные работы:**

Контрольная работа № 1 – письменная работа по Разделу 1 включает в себя вопрос по лекционной составляющей Раздела 1, задание на определение симметрии и краткое описание кристаллических многогранников и решение графических задач.

Контрольная работа № 2 – письменная работа по Разделам 2 и 3 включает в себя вопрос по лекционной составляющей Разделов 2 и 3, задание на определение симметрии и краткое описание кристаллических многогранников и решение графических задач.

Контрольная работа № 3 – письменная работа по Разделу 4 включает в себя вопрос по лекционной составляющей Раздела 4, задание на определение симметрии и краткое описание кристаллических многогранников и решение графических задач.

Контрольная работа № 4 – письменная работа по Разделу 4 включает в себя вопрос по лекционной составляющей Раздела 4, задание на определение симметрии и краткое описание кристаллических многогранников и решение графических задач.

Контрольная работа № 5 – письменная работа включает в себя вопрос по темам практических занятий «Структуры простых веществ (самородных элементов) и родственных им соединений» и «Структуры галогенидов, оксидов и халькогенидов», задание на определение симметрии и краткое описание кристаллических многогранников и решение графических задач.

Контрольная работа № 6 – письменная работа включает в себя вопрос по темам практических занятий «Систематика и свойства кислородных соединений» и «Структуры карбонатов, нитратов и боратов с изолированными треугольными радикалами», задание на определение симметрии и краткое описание кристаллических многогранников и решение графических задач.

Контрольная работа № 7 – письменная работа включает в себя вопрос по темам практических занятий «Бораты», «Кристаллохимия силикатов и алюмосиликатов», «Структуры силикатов с конечными линейными группами тетраэдров», «Кольцевые силикаты», «Цепочечные силикаты и алюмосиликаты», «Слоистые силикаты», и «Каркасные алюмосиликаты», задание на определение симметрии и краткое описание кристаллических многогранников и решение графических задач.

## 8.2. Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Типовые задания для контрольных работ:

Контрольная работа № 1.

1. История развития кристаллографических наук. Первые кристаллографические законы. Основные направления современной науки.
2. Кристаллическое вещество, его основные характеристики.
3. Связь кристаллографии с родственными дисциплинами
4. Симметрия, операция симметрии, элемент симметрии.
5. Конгруэнтное и энантиоморфное равенство.
6. Элементы симметрии первого (поворотные оси) и второго (зеркальная плоскость, центр симметрии) рода, их характеристики. Основной закон кристаллографии.
7. Сложные элементы симметрии, их взаимосвязь и реализация в кристаллическом веществе.
8. Осевая теорема Эйлера. Ее частные случаи. Доказательства.
9. Использование теорем взаимодействия элементов симметрии при выводе и вычерчивании графиков классов симметрии.
10. Использование теорем взаимодействия элементов симметрии при расшифровке символов Шенфлиса и построении международных символов классов симметрии.
11. Сферическое, стереографическое и гномостереографическое проецирование кристаллов. Сферические координаты и примеры их использования.
12. Взаимосвязь стереографических и гномостереографических проекций граней и ребер кристаллов. Понятие «зона». Практическое использование зон при работе с кристаллами.
13. Кристаллографические координатные системы, их характеристики; принципы разбиения классов симметрии на категории и сингонии.

Контрольная работа №2.

1. Простые формы кристаллов, их характеристики. Понятия «облик» и «габитус» кристалла.
2. Простые формы в кристаллах осевых классов низшей категории.
3. Простые формы в кристаллах осевых классов гексагональной сингонии.
4. Отличие тетраэдров в кристаллах разных категорий. Перечислить классы, в которых эти простые формы будут общими и частными.
5. Вывести простые формы ромбо-тетраэдрического и ромбоэдрического классов симметрии. Назвать возможные символы граней этих простых форм.
6. Простые формы в кристаллах низшей категории.
7. Простые формы в кристаллах осевых классов средней категории.
8. Вывести и назвать общие простые формы во всех классах кубической сингонии.
9. Вывод простых форм на основе граней гексаэдра в разных классах кубической сингонии.
10. Вывод простых форм кристаллов на основе граней октаэдра в разных классах кубической сингонии.
11. Вывод простых форм на основе граней тетраэдра в разных классах кубической сингонии.
12. Основные формы кристаллов кубической сингонии. В каких классах они встречаются?
13. Факторы, влияющие на зарождение кристаллов.
14. Основы теории роста кристаллов. Дислокационный рост кристаллов.
15. Методы искусственного получения кристаллов.

16. Типоморфные признаки кристаллов; штриховка, фигуры растворения в связи с симметрией граней. Причины их возникновения

17. Формы роста кристаллов: скелетные, дендритные, нитевидные, радиально-лучистые.

Контрольная работа № 3.

1. Понятие пространственной решетки, элементарная ячейка.

2. Типы решеток Браве.

3. Трансляционные элементы симметрии. Винтовые оси симметрии. Плоскости скользящего отражения.

4. Пространственные (федоровские) группы симметрии. Принцип вывода пространственных групп симметрии.

Контрольная работа №4.

1. Характеристики кристаллических структур: координационные числа, координационные многогранники, число формульных единиц; правила словесного описания кристаллических.

2. Плотнейшие упаковки в кристаллах. Их типы и характеристики. Примеры структур.

3. Полиэдрический метод изображения кристаллических структур.

4. Химическая связь в кристаллических структурах. Металлическая, ионная и ковалентная связи, их характеристики и реализация в кристаллических структурах.

5. Классификация кристаллических структур на основе химических связей.

6. Кристаллохимические радиусы. Их определение.

7. Пустоты в плотнейших упаковках. Их роль в разнообразии кристаллических структур.

8. Кристаллические структуры, построенные на основе двухслойной плотнейшей упаковки.

9. Кристаллические структуры, построенные на основе трехслойной плотнейшей упаковки.

10. Полиморфизм и политипия. Классификация полиморфных превращений. Энантиотропные и монокотропные превращения.

11. Изоморфизм: совершенный и несовершенный, изовалентный и гетеровалентный. Диагональные ряды Гольдшмидта-Ферсмана.

Контрольная работа № 5

1. Разделение простых веществ на металлы и неметаллы. Самородные элементы.

2. Молекулярные структуры простых веществ.

3. Атомные структуры простых веществ.

4. Структуры металлов и их твердых растворов.

5. Интерметаллиды.

6. Структуры металлических фаз внедрения.

7. Структуры соединений мелких атомов (B, C, Si, N) между собой.

8. Химическая связь в галогенидах. Галогениды типа АВ и АВ<sub>2</sub>.

9. Структуры простых оксидов.

10. Структуры двойных оксидов.

11. Химическая связь в сульфидах.

Контрольная работа № 6

1. Химическая связь в солях кислородных кислот. Систематика.

2. Общие черты полимеризации радикалов  $TO_3$  и  $TO_4$  в различных классах кислородных соединений. Геометрия кислородных соединений как функция отношения  $O/T$ .

3. Прочностные свойства кислородных соединений как функция остаточного заряда  $\text{TO}_4$  / треугольника  $\text{TO}_3$ . Прочность кислородных соединений с высоковалентными, средневалентными и низковалентными центральными атомами.

4. Безводные карбонаты, нитраты и бораты кальцитового и арагонитового строения.

5. Водные карбонаты.

#### Контрольная работа № 7

1. Место боратов в структурной химии и структурной минералогии. Координация атомов бора и кислорода в боратах.

2. Борокислородные группы.

3. Характеристики  $\text{BO}_3$  и  $\text{BO}_4$  – полиэдров.

4. Общая характеристика класса силикатов. Роль Al и Si в строении силикатов. Основы классификации силикатов.

5. Силикаты с конечными линейными кремнекислородными мотивами. Изоморфные замещения. Примеры изоморфизма в этом классе соединений.

6. Силикаты с бесконечными кремнекислородными мотивами. Цепочечные и ленточные силикаты. Их строение и проявления изоморфизма.

7. Силикаты с бесконечными кремнекислородными мотивами. Слоистые силикаты. Изоморфизм в этом классе соединений.

8. Силикаты с бесконечными кремнекислородными мотивами. Каркасные силикаты и алюмосиликаты.

#### План описания кристаллов:

1. Определение симметрии кристалла - категории ( $a, b, c$ ), - сингонии ( $\alpha, \beta, \gamma$ ), запись класса симметрии по Браве, по Шенфлису, по международной символике (Германа-Могена);

2. Вычерчивание стереографической проекции класса симметрии;

3. Выбор координатной системы (обозначение на графике направление координатных осей X, Y и Z);

4. Построение гномостереографической проекции граней кристалла;

5. Характеристика простых форм кристалла:  $a$  - количество граней,  $b$  - частная или общая простая форма,  $v$  - закрытая или открытая простая форма,  $z$  - символы граней каждой простой формы,  $d$  - название простой формы;

6. Название класса симметрии (по общей простой форме);

7. Определение облика и габитуса кристалла.

#### План описание кристаллической структуры:

1. Выделить в структуре ячейку Браве;

2. Определить тип решетки Браве. Записать ее константы;

3. Сосчитать сколько атомов различных типов приходится на одну ячейку Браве;

4. Определить (или подтвердить) тип формулы соединения;

5. Рассчитать число формульных единиц (Z);

6. Определить координационные числа (КЧ) атомов каждого сорта;

7. Назвать координационный многогранник (КМ);

8. Проверить формулу соединения по взаимной координации атомов;

9. Дать словесное описание структуры; если возможно, то описание дать в терминах плотнейших упаковок (указать слойность упаковки и мотив заполнения в ней тех или иных пустот);

10. Выделив координационные многогранники вокруг атомов, указать характер их сочленения.

По приведенному описанию нарисовать кристаллическую структуру в плане, выделив контуры элементарной ячейки и обозначив координаты атомов.

### Примерные вопросы к зачету (Собеседование) и экзамену (Устная форма):

1. Элементы и операции симметрии.
2. Особенности построения сферического, стереографического и гномостереографических проекций.
3. Сетка Вульфа. Кристаллографические задачи, решаемые с ее помощью.
4. Суть осевой теоремы Эйлера. Ее частные случаи.
5. Правила составления символа Браве, Шенфлиса и Германа-Могена
6. Определение простой формы.
7. Основные характеристики простых форм.
8. Понятия категория и сингония.
9. Правила выбора координатных осей.
12. Для чего необходимы символы граней и ребер кристаллов? Что нужно знать, чтобы их определить?
14. Понятие пояс (зона), использование метода развития зон при индцировании кристаллических многогранников.
15. Суть закона рациональности отношений параметров граней
18. Понятие «пространственная решетка», «элементарная ячейка», «тип решетки Браве».
19. Правила выбора ячейки Браве
20. Примеры структур с различными типами ячеек Браве
21. Отличие понятий кристаллическая структура и пространственная решетка?
22. Понятие координационное число и координационный многогранник.
23. Что такое число формульных единиц? Что необходимо знать, чтобы определить это число.
24. Типы плотнейших упаковок атомов в различных структурах. Их обозначение.
25. Основные вехи истории кристаллохимии. Кристаллохимия среди других наук о веществе. Основные задачи кристаллохимии.
26. Свойства атомов, важные для кристаллохимии.
27. Построение периодической системы элементов.
28. Координационные полиэдры и координационные числа. Связи между координационными числами разных атомов в структуре. Среднее координационное число. Структурный тип. Изоструктурность, изотипность, структурный класс. Гомеотипия.
29. Структурные единицы кристалла. Мотив структуры. Кристаллохимические формулы.
30. Эффективные радиусы ионов. Зависимость ионного радиуса от заряда, координационного числа, спинового состояния.
31. Структурные особенности разных типов связи: ионной, ковалентной, металлической, ван-дер-ваальсовой
32. Внутренние и внешние факторы изоморфизма. Влияние температуры и давления на изоморфизм.
33. Изоморфизм, определение, история открытия и изучения. Классификация.
34. Структурная классификация полиморфизма.
35. Разделение простых веществ на металлы и неметаллы. Самородные элементы.
36. Атомные и молекулярные структуры простых веществ.
37. Химическая связь в галогенидах. Галогениды типа АВ и АВ<sub>2</sub>.
38. Структуры простых и двойных оксидов.
39. Химическая связь в сульфидах.
40. Химическая связь в солях кислородных кислот. Систематика.

41. Безводные карбонаты, нитраты и бораты кальцитового и арагонитового строения. Водные карбонаты.
42. Место боратов в структурной химии и структурной минералогии. Координация атомов бора и кислорода в боратах. Борокислородные группы.
43. Общая характеристика класса силикатов. Основы классификации силикатов.
44. Силикаты с конечными линейными кремнекислородными мотивами. Изоморфные замещения. Примеры изоморфизма в этом классе соединений.
45. Силикаты с бесконечными кремнекислородными мотивами. Цепочечные и ленточные силикаты. Их строение и проявления изоморфизма.
46. Силикаты с бесконечными кремнекислородными мотивами. Слоистые силикаты. Изоморфизм в этом классе соединений.
47. Силикаты с бесконечными кремнекислородными мотивами. Каркасные силикаты и алюмосиликаты.
48. Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионцентрированных тетраэдров.
49. Высокотемпературная кристаллохимия: определения и понятия. Принципы термических деформаций.
50. Принципы кристаллохимии высоких давлений.

**Автор-составитель рабочей программы:**

*С.н.с., к.г.-м.н. Канева Екатерина Владимировна*

*Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения отдела магистратуры и аспирантуры ИГХ СО РАН.*